

计算流体力学在冲击器设计和模拟中的应用

杨顺辉¹ 陶兴华¹ 殷 琨² 彭视明² 索忠伟¹ 涂玉林¹

(1. 中国石化石油勘探开发研究院 德州石油钻井研究所, 山东 德州 253005; 2. 吉林大学 建设工程学院, 吉林 长春 130026)

摘 要:冲击器对旋冲钻井技术的实施起着至关重要的作用。随着计算流体力学(CFD)技术的发展, CFD 也逐渐应用到冲击器的设计和模拟当中。优选了适合液动射流式冲击器性能模拟的 CFD 软件, 建立了计算模型并进行了计算分析, 同时利用先进的粒子图像测速(PIV)技术对射流元件的内部流场进行了观测, 对 CFD 模型进行了验证。最后指出, 随着计算机技术的不断发展以及 CAD/CAE、CFD 和 PIV 技术的有机融合, 冲击器虚拟样机设计和模拟技术将会得到进一步的发展和提高, 这也是冲击器设计和模拟技术的一个重要发展方向。

关键词:射流式冲击器; 计算机模拟; 计算流体力学; 粒子图像测速

中图分类号: TE921 **文献标识码:** B **文章编号:** 1001-0890(2008)05-0040-03

几十年来的研究应用表明, 旋冲钻井工艺技术可以大幅度提高钻井速度, 因此, 作为该技术核心工具的冲击器的发展很快。但由于在设计冲击器时基本采用“样机制造—室内试验—入井试验—再改进”的流程, 导致研发周期长、代价高昂^[1]。而且, 对冲击器内流体流动的研究依然停留在定性分析上, 在样机结构设计(如射流元件的设计)方面, 最常用的依然是经验类比法。因此, 在设计阶段最大可能地采用现代先进技术手段进行分析研究, 会在样机研发阶段对冲击器的预期性能和寿命更有把握, 而计算流体力学(CFD)技术就是能够满足需要的现代虚拟样机设计手段之一。

1 CFD 软件的优选

计算流体力学(CFD)是近代流体力学、数值数学和计算机科学相结合的边缘科学。它以电子计算机为工具, 应用各种离散化的数学方法, 对流体力学的各类问题进行数值试验、计算机模拟和分析研究, 以解决各种实际问题。目前比较著名的 CFD 软件有 Fluent、CFX、Star-CD 和 Phoenix。

液动射流式冲击器运动的本身就是液体在冲击器内部流动的问题, 属于流体力学研究的范畴。因此通过综合分析对比, 最终选择 Fluent 作为液动射流式冲击器建模的 CFD 分析软件, 其主要优点是:

1) Fluent 一直主导着 CFD 的行业标准, 在美国的市场占有率为 60%, 在中国的市场占有率在 65%

以上, 通用性较好。

2) 该软件功能强大, 适用面广。它包括各种优化物理模型, 如: 计算流体流动和热传导模型、辐射模型、相变模型、离散相变模型、多相流模型及化学组分输运和反应流模型等。每一种物理问题的流动都有适合它的数值解法, 用户可对显式或隐式差分格式进行选择, 以期在计算速度、稳定性和精度等方面达到最佳。

3) 该软件具有高效、省时的特点。Fluent 将不同领域的计算软件组合起来, 成为 CFD 计算机软件群, 软件之间可以方便地进行数值交换, 并采用统一的前、后处理工具, 避免了科研工作者在计算方法、编程和前后处理等方面投入重复、低效的劳动, 而可以将主要精力用于物理问题本身的探索上。

4) 该软件独特的动网格技术特别适用于模拟液动射流式冲击器中活塞的运动。

Fluent 软件包主要由以下几部分组成^[2]: 1) Gambit, 用于建立几何结构和生成网格; 2) Fluent, 用于进行流动模拟计算的求解器; 3) prePDF, 用于

收稿日期: 2008-06-12; 改回日期: 2008-08-01

基金项目: 国家高技术研究发展计划(“863”计划)项目“超深井钻井技术研究”之专题“高效破岩冲击器的研制及旋冲钻井工艺技术研究”(编号: 2006AA06A109-3-2)的部分研究成果

作者简介: 杨顺辉(1973—), 男, 河南洛阳人, 1995 年毕业于大庆石油学院采油工程专业, 2008 年获中国石油大学(华东)油气井工程专业工程硕士学位, 高级工程师, 主要从事液动冲击器、可膨胀波纹管 and 欠平衡钻井等方面的研究工作。

联系电话: (0534)2670110

模拟 PDF 燃烧过程;4) TGrid, 用于从现有的边界网格生成体网格;5) Filters(translators), 转换其他程序生成的网格, 用于 Fluent 计算, 可以接口的程序包括 Ansys、I-Deas、Nastran 和 Patran 等。

2 液动射流式冲击器的建模和计算

利用 Fluent 软件进行流体流动模拟计算的流程为:首先利用 Gambit 或其他第三方软件进行流动区域几何形状的构建、边界类型以及网格的生成, 并输出用于 Fluent 求解器计算的格式, 然后利用 Fluent 求解器对流动区域进行求解计算, 并进行计算结果的后处理。

液动射流式冲击器射流元件及冲击系统的组成如图 1 所示。该系统共分为流体进口、元件工作腔、排空道和活塞上下腔等部分, 这些就构成了射流式冲击器的工作流道, 也是 CFD 软件的求解空间, 然后对建好的模型进行了网格划分和边界条件的确定(图 2 所示为冲击器系统网格模型)^[3]。

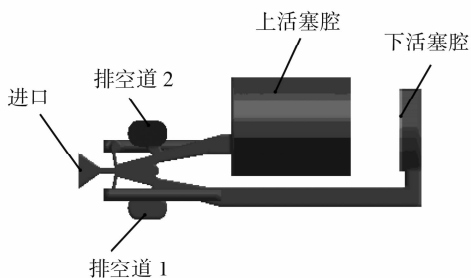


图 1 液动射流冲击系统边界及流域

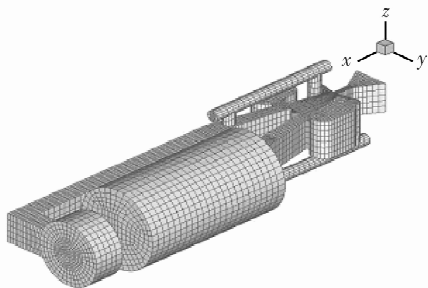


图 2 液动射流式冲击器 CFD 网格模型

运用 CFD 动网格技术等多项仿真分析手段, 首次实现了射流式液动锤射流元件、内缸前后工作腔等所有流体通道内流体运动与活塞冲锤刚体运动的耦合分析, 得到了大量的分析结果, 与各因素(如活塞直径等)对冲击器性能影响试验的结果相当吻合, 证实了这种新分析方法的有效性, 获得了很多用试验手段难以观测到的结果, 深化了对射流式液动锤内部动力过程的认识。

运用 CFD 软件, 分析得到了液动锤各流体通道

内流体的运动状态(速度场及压力场), 揭示了射流元件内流体漩涡及卷吸、射流的附壁与切换等物理过程, 实现了射流式液动锤内部流场动态的可视化分析(如图 3、4 所示), 为各流体通道的优化设计提供了保障, 将有助于减小射流元件和其他流道被冲刷, 提高射流元件和整机的工作寿命。

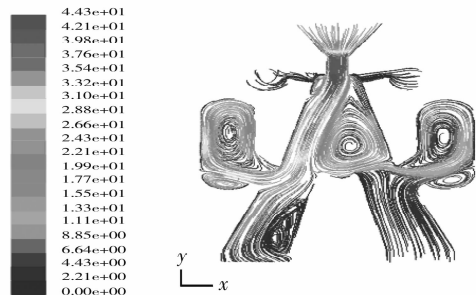


图 3 射流式冲击器射流元件工作腔室流场典型迹线

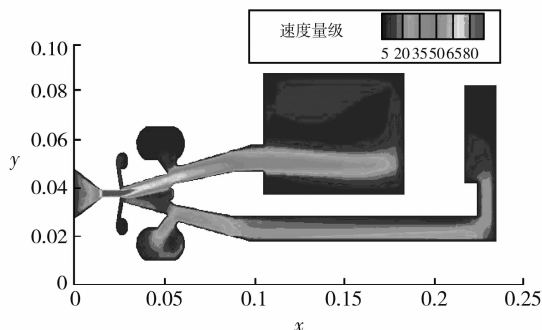


图 4 某一瞬间射流元件和缸体前后腔的速度场

3 射流元件内部流场观测

运用 CFD 软件可以在计算机上清楚地看到射流元件和活塞内部的流动过程, 但还必须通过试验手段对分析结果进行验证。虽然已进行了部分冲击器性能的影响因素(如活塞直径、冲程大小和冲锤质量等)试验研究, 并与 CFD 的计算结果进行了对比分析, 然而对于射流元件内流体的切换过程以及流体速度和压力的变化一直没有合适的手段进行测量。近年来粒子图像测速(PIV)技术的发展成熟, 为射流元件的内部流场观测提供了可能。作为 PIV 技术核心的流场图像分析法目前主要采用二维快速 Fourier 变换实现互相关函数的计算, 并利用速度的基本定义, 通过测量示踪粒子在已知时间间隔内的位移实现对示踪粒子速度的测量; 对测量平面上的多个示踪粒子进行跟踪、测量, 就可实现流速分布的二维或三维测量。

为了测量射流式冲击器射流元件内的流场变化, 研发了专门的试验装置, 将射流元件引至冲击器

本体之外,研制了透光性(采用有机玻璃)的射流元件,采用全套的PIV观测设备,对射流元件工作腔内的流体运动状态进行了观测和记录。

通过观察PIV设备采集到的多幅图像,可以清楚地看到流体在射流元件内的切换过程,然而试验所采集到的示踪粒子图像并不能直观地反映出示踪粒子的速度和射流元件内部的流动现象及其流动规律,还需要对粒子图像进行分割和识别,使其转化为矢量形式,以进行定性分析;再进一步求出示踪粒子的速度值,以进行定量分析。求解得到的速度值是连接试验和理论计算的桥梁,通过试验结果可以验证CFD数值模拟计算结果正确与否,也可以作为数值模拟计算的初始速度条件,二者相辅相成,相互验证,更好地指导射流式冲击器的设计^[4]。

为便于与CFD计算结果对比,使用流场判读系统处理采集到的元件工作腔切面速度场图像及提取的粒子速度,即为此处流体质点的绝对速度(忽略颗粒滞后影响),对试验所得的速度值进行插值处理得到工作腔切面中线速度值,将试验值与CFD计算值进行分析对比(如图5所示)。从图5可看出,计算结果与试验结果基本相符,误差在10%以内,证明所进行的液动射流式冲击器内部流场计算是比较准确的,而相应的流场计算方法也是可行的。

4 结束语

计算流体动力学(CFD)技术可以直观地显示液

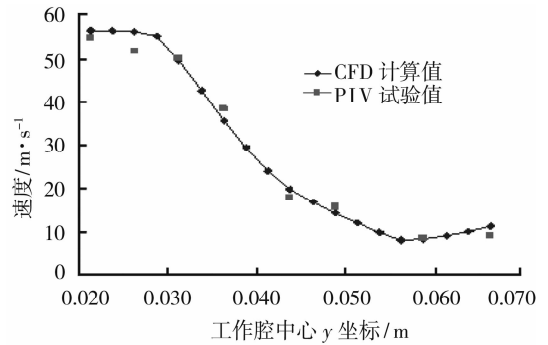


图5 计算与试验结果对比

动射流式冲击器的各种运动状态以及流体的压力和速度分布,随着各种CAD/CAE软件和CFD的有机结合,冲击器建模和模拟计算技术将会越来越完善,这必将极大地加快冲击器的研发进程。利用粒子图像测速(PIV)技术首次对射流元件的内部流场进行了观测,为CFD模型的验证提供了坚实的试验基础,通过这几项技术的综合运用,冲击器虚拟样机设计和模拟技术将会得到进一步的发展与提高,这也是冲击器设计和模拟技术的一个重要发展方向。

参考文献

- [1] 陶兴华. 液动射流式冲击器工作数学模型建立[J]. 石油钻探技术, 2005, 33(1): 44-47.
- [2] 韩占忠, 王敬, 兰小平. FLUENT 流体工程仿真计算实例与应用[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 2004.
- [3] 王清岩, 殷琨, 彭视明, 等. 液动射流冲击器计算机仿真技术的发展与应用[J]. 石油钻探技术, 2008, 36(1): 45-49.
- [4] 陈家旺. 射流液动冲击器仿真计算与试验研究[D]. 吉林长春: 吉林大学建设工程学院, 2007.

Application of CFD on Design and Simulation of Hydro-Efflux Hammer

Yang Shunhui¹ Tao Xinghua¹ Yin Kun² Peng Jianming² Suo Zhongwei¹ Tu Yulin¹

(1. Dezhou Petroleum Drilling Research Institute, Petroleum Exploration & Production Research Institute, Sinopec, Dezhou, Shandong, 253005, China; 2. School of Construction Engineering, Jilin University, Changchun, Jilin, 130026, China)

Abstract: The hydro-efflux hammer plays a very important role on rotary percussion drilling technology. With the development of CFD, it is used in the design and simulation of hydro-efflux hammer. This paper selected the suitable CFD software for hydro-efflux hammer performance simulation and built the model for calculation analysis. At the same time, the PIV technology was used to observe the element flow field to validate the calculated results using proposed model. At last, this paper pointed out that the design of hydro-efflux hammer dummy model machine will be developed and improved with development and combination of the CAD/CAE, CFD, PIV, etc. It is also an important development direction for the design and simulation of hydro-efflux hammer technology.

Key words: efflux hammer; computer simulation; computational fluid dynamics; particle image velocity